

Приведенные зависимости позволяют создать математическую модель ЭК, с помощью которой можно с достаточной точностью получить значительный объем информации, который будет в дальнейшем использован для определения оптимальных режимных параметров и конструкций агрегата, а также практического применения полученных результатов.

#### **Список использованных источников**

1. Чалых Е.Ф. Технология и оборудование электродных и электроугольных предприятий. М.: Металлургия, 1972.
2. Гасик М.М., Гасик М.И. и др. Комплексная модель прокаливания антрацита в электрокальцинаторе // Электрометаллургия. 2007. № 2.
3. Лакомский В.И., Быковец В.В. О контактном нагреве термоантрацита в электрокальцинаторе // Цветные металлы. 2004. № 1.

### **ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ МЕТАЛЛА В ПЕЧАХ СТАНОВ ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ**

© А.В. Епишин, В.В. Кузнецов, Р.С. Бегинин, 2012

НИТУ «МИСис», г. Москва

Современное положение на рынке характеризуется постоянно растущими требованиями потребителей к качеству готовой продукции металлургии. Обеспечить высокое качество можно только при систематическом контроле технологического процесса, который проводится по всем переделам и позволяет также исключить брак и минимизировать затраты энергетических и материальных ресурсов. Основными показателями, обеспечивающими получение заданного качества металла, являются состав, структура, состояние поверхности.

Температурный режим нагрева и охлаждения в ходе проведения процессов выплавки, разлива и прокатки определяет как качество продукции, так и затраты энергии (удельный расход топлива, электроэнергии, кокса) и ресурсов (расход воды, пара, защитного газа, количество брака, окалина и т.п.). Температурный режим работы влияет на стойкость элементов печей, длительность межремонтных периодов и объем ремонтов печей, сталеразливочного и прокатного оборудования.

Таким образом, в металлургическом производстве имеются два основных параметра, определяющих технико-экономические параметры (ТЭП) функционирования как всего комбината в целом, так и каждого агрегата в отдельности: состав и температурный режим во всем цикле получения готовой продукции (рис. 1).

Состав практически закладывается на двух первых переделах: производство чугуна и выплавка стали, и определяет его потребительские механико-физические свойства. Температурный режим технологического процесса является наиболее важной характеристикой производства. Температурный режим охлаждения слитка в процессе кристаллизации на МНЛЗ определяет равномерность химического состава, создает необходимую первичную структуру заготовки и качество ее поверхности.

Заготовка передается в цех горячей прокатки. Металл перед соответствующим станом нагревается либо в нагревательных колодцах, либо в методических толкательных печах или печах с шагающими балками или подом. Режим нагрева должен обеспечивать получение заданной температуры от 1150 до 1250 °С и минимального перепада по сечению заготовки от 10 до 20 °С. Управление температурным режимом осуществляется практически только по показаниям зональных термоэлектрических термометров (ЗТТ). Оператор печей вводит изменения в режим их работы на основании своего опыта по показаниям пирометров

излучения (ПИ), контролирующих температуру раската на стане: после черновой клетки, перед чистовой клетью, после чистовой клетки и после участка душирования.

На основании вышесказанного можно сделать вывод о том, что температура является интегральной величиной, определяющей достижение необходимого качества или его повышения, необходимой производительности, минимизации затрат энергии, удельного расхода топлива, воды, защитной атмосферы.

В нагревательных и термических печах (за очень редким исключением) температура металла практически не измеряется – управление процессом ведется по косвенному параметру – температуре зоны.

Контроль температуры металла на прокатных станах осуществляется с помощью пирометров излучения только в отдельных точках, причем при их использовании недостаточно учитываются методические погрешности данного метода контроля, связанные:

- с переменной степенью черноты (спектральной или интегральной) объекта измерения, зависящей от уровня температуры, химического состава металла, состояния его поверхности, угла визирования, спектрального диапазона пропускания оптики ПИ;
- с фоновым излучением;
- с влиянием промежуточного слоя воздуха, содержащего трехатомные газы ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{SO}_2$ ).

Исключительно важным при измерении температуры металла является знание действительной степени черноты, значение которой используется для введения коррекции в показания ПИ, который градуируется по абсолютно черному телу (АЧТ). Таким образом, все метрологические характеристики данного прибора для бесконтактного измерения температуры (класс точности, погрешность измерения) действительны только для АЧТ. Реальные металлы, сплавы, огнеупоры по своим излучательным характеристикам существенно отличаются от АЧТ. Причем излучательные характеристики известны лишь для ограниченного числа марок стали, узких интервалов температуры и только для отдельных диапазонов длин волн.

Методические погрешности, возникающие из-за неизвестных спектральных и интегральных показателей степени черноты металла, фонового излучения, запыленности, наличия влаги и паров, неточного визирования, влияния селективно излучающих и поглощающих газов, загрязнения оптики и т.п., учитываются не в полном объеме, а введение точных поправок на степень черноты трудно достижимо, т.к. эти данные весьма специфичны и практически недостаточно известны. Например, ошибка в величине задаваемой степени черноты в 0,1 приводит к погрешности от 15 до 60 °С (табл. 1) и более в зависимости от уровня температуры, спектрального диапазона приемника излучения и т.п. В агрегатах непрерывного отжига ошибка измерения температуры полосы в печи с помощью ПИ может достигать 15–80 °С за счет неизвестной степени черноты и фонового излучения кладки.

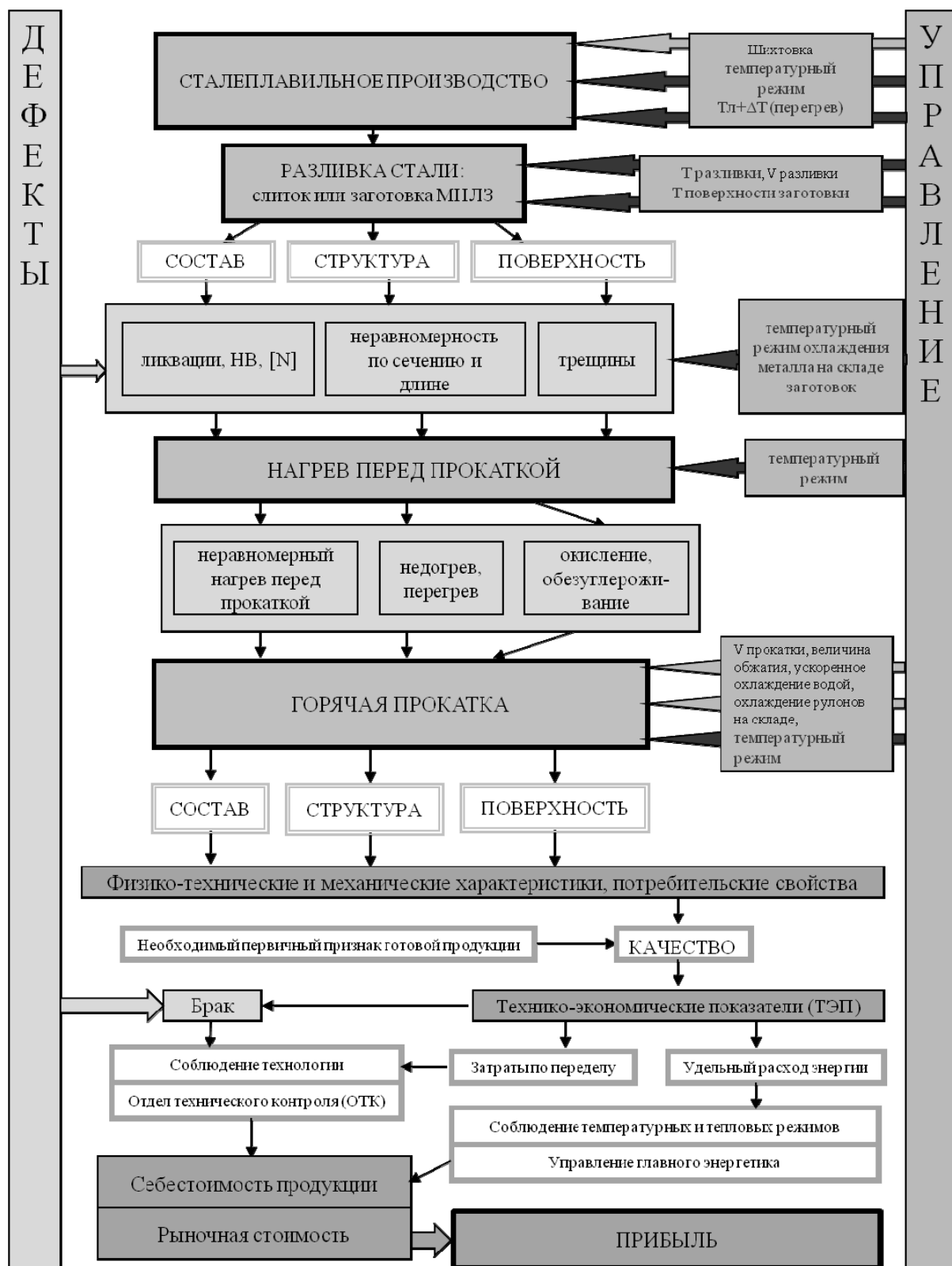


Рис. 1. Роль температурного режима в функционировании металлургического предприятия

Таблица 1

Ошибки в измерении температуры ПИ SOLO SN21 в зависимости от погрешности определения степени черноты, °С

Величина степени черноты $\varepsilon$	0,7		0,8		0,9	
Погрешность задания степени черноты $\Delta\varepsilon$	0,02	0,05	0,02	0,05	0,02	0,05
900	4,0	9,7	3,6	8,8	3,3	8,1
1000	4,6	11,4	4,2	10,4	3,9	9,5
1100	5,3	13,1	4,9	12,0	4,5	11,1

Для избавления от одного из наиболее влияющих вредных факторов измерения температуры металла – фонового излучения в печах – необходимо использовать двухсенсорную систему. На кафедре ТЭМП выполнены исследования двухсенсорной системы, которая установлена на электрической печи периодического действия. Установка включает в себя два пирометра частичного излучения (ПЧИ), визированные на металл и кладку соответственно, термопару, фиксирующую температуру рабочего пространства и термопары, зачеканенные в металл, с помощью которых, фиксировалась действительная температура металла.

Расчет производился с помощью формулы Киренкова при постоянной степени черноты  $\varepsilon = 0,77$ . На рис. 2, приведен график погрешностей расчета, измерений пирометра и измерения зональной термопары, относительно действительной температуры металла.

$$\frac{1}{T_M} = \frac{1}{T_Y} - \frac{\lambda}{C_2} \sim \ln \left\{ \frac{1}{\varepsilon_\lambda} - \frac{1 - \varepsilon_\lambda}{\varepsilon_\lambda} \exp \left[ \frac{C_2}{\lambda} \left( \frac{1}{T_Y} - \frac{1}{T_{кл}} \right) \right] \right\} \quad (1)$$

где  $T_M$  – действительная температура металла, К;

$T_Y$  – яркостная температура, К;

$\lambda$  – рабочая длина волны пирометра, мкм;

$\varepsilon_\lambda$  – спектральная степень черноты металла;

$C_2$  – вторая постоянная Планка,  $C_2 = 1,438 \cdot 10^{-2} \text{ м} \cdot \text{К}$ .

Из графиков видно насколько велика ошибка измерения пирометром из-за сильного влияния фонового излучения, а также инерционность зональной термопары, по которой тоже невозможно точно вести процесс нагрева.

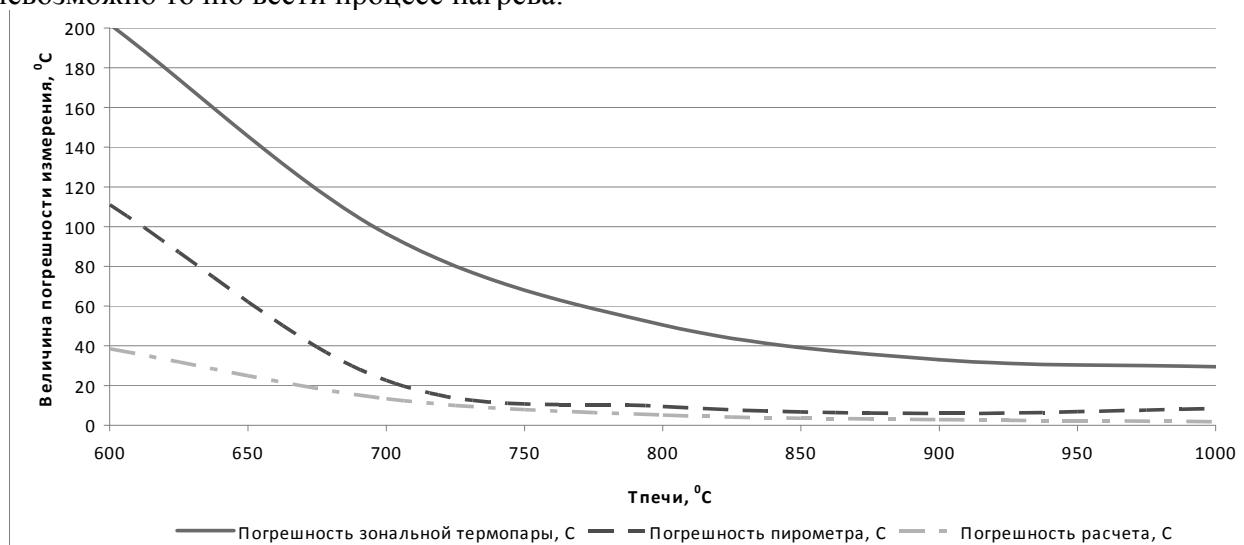


Рис. 2. График температурных погрешностей при измерении и расчете действительной температуры металла

Для точного контроля температуры в зоне применяются дорогостоящие платиновые термопары, альтернативой им могут служить оптоволоконные пирометры. В работе выполнено исследование данного пирометра Термоскоп 600-ТПИК ВТО.

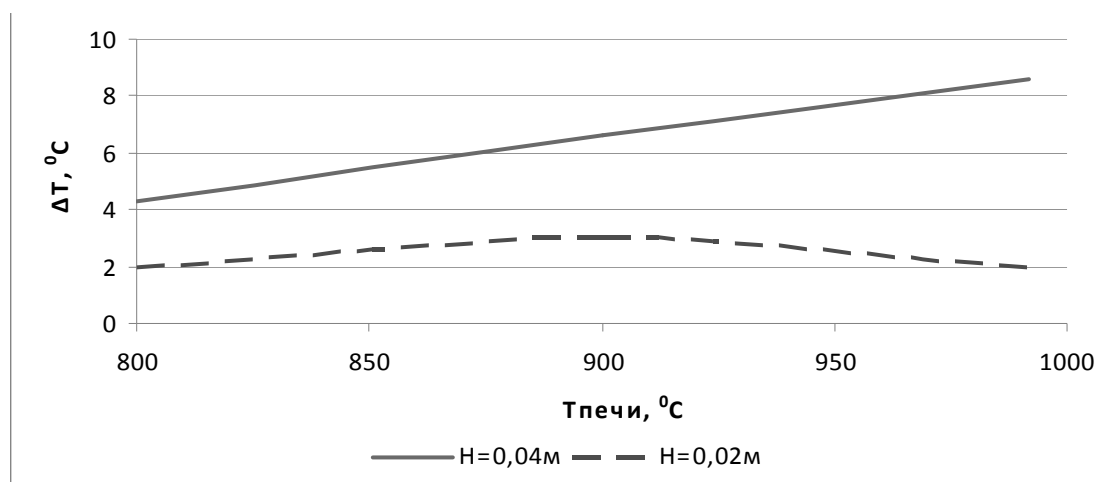


Рис. 3. График температурных погрешностей оптоволоконного пирометра, установленного на различных расстояниях от поверхности металла

Проведено исследование точности контроля температуры металла также и на действующей промышленной. И по данным от этих пирометров принимается решение о готовности сляба к дальнейшему переделу.

Результаты исследований температурных режимов нагрева металла, выполненных на печах станов горячей прокатки, свидетельствуют о том, что показания ЗТТ могут значительно отличаться от действительной температуры металла, что приводит к перегреву заготовок и интенсивному окалинообразованию, а также к перерасходу топлива и снижению стойкости печи – увеличению числа и стоимости ремонтов.

Управление процессом нагрева в печи необходимо проводить по температуре поверхности заготовок и расчетом действительной температуры металла, измеряемой с помощью ПИ, показания которого должны корректироваться по величине фонового излучения и степени черноты металла.

Погрешность ПИ SOLO SN21, контролирующего температуру поверхности движущегося металла достигала 18,5 °C, относительно значения контактной термопары, одновременно измеряющей температуру металла в печи. Разработан алгоритм введения поправок в показания ПИ, учитывающий температуру фонового излучения зоны.

### **ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ СЕРНОКИСЛОТНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ НА КАЧЕСТВО ОБЕСФОСФОРИВАНИЯ ЛИСАКОВСКОГО ЖЕЛЕЗОРУДНОГО КОНЦЕНТРАТА**

© А.Ю. Епишин, 2012

*ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет  
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург*

© В.Г. Карелин, Л.А. Зайнуллин, 2012

*ОАО «Всероссийский научно-исследовательский институт  
металлургической теплотехники» (ОАО «ВНИИМТ»), г. Екатеринбург*

Изучение проблемы удаления фосфора из лисаковского гравитационно-магнитного концентрата на стадии подготовки руд к сталеплавильному переделу показало, что для